

INTEGRATED SIMULATION SYSTEM FOR HIGH SPEED UAV

Herma Yudhi Irwanto
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Pusat Teknologi Roket
Pos El : herma.yudhi@lapan.go.id

Abstrak

Simulasi UAV sebelum terbang sangat penting untuk mengurangi kesalahan, efisiensi waktu dan biaya. Hal itu dapat dilakukan dengan memantau seluruh aspek / variable flight dynamics vehicle guna meningkatkan performance and stability nya. *Hardware in the Loop Simulation (HILS)* adalah seni menggabungkan berbagai device dan protocol yang berbeda menjadi satu kesatuan sistem yang dapat mensimulasikan uji terbang high speed UAV dari sejak launch, flight stability, auto pilot by way points sampai landing kembali. HILS ini telah berhasil menggabungkan 9 unit device berbeda dng protocol UDP dan shared memory yang selanjutnya disebut sebagai Integrated Simulation System (ISS). Dalam sistem ini disimulasikan dinamika terbang, stability dan navigasi high speed UAV jenis RKX- 200TJ menggunakan PID control yang dilaksanakan secara bertahap dalam pengembangannya. Alur proses HILS diawali dengan menghubungkan seluruh perangkat tersebut dengan memperhatikan kesesuaian protocol di antaranya. Dengan kemudahan setting yang diberikan oleh XPlane, parameter-parameter wahana RK-200TJ dimasukkan ke dalam wahana simulasi, serta data-data gain PID yang diperlukan untuk pengontrolan wahana juga dimasukkan ke dalam main controller. Selanjutnya proses close loop simulasi terbang RKX-200TJ secara real time dapat dilakukan dengan memantau seluruh proses yang melibatkan seluruh perangkat, dan menampilkannya dalam visualisasi yang mudah dipahami.

Kata Kunci : *High Speed UAV, HILS*

Abstract

Implementation of the UAV flight simulation test before the actual flight tests will be very important to reduce errors, time and cost efficiency. With this simulation can be monitored all aspects / flight dynamic vehicle variables in order to improve its performance and stability. Hardware in the loop simulation (HILS) is the art of combining a variety of different devices and protocols into a single unified system that can simulate flight test of high speed UAV since launch, flight stability, auto pilot by way points until landing back. This HILS has managed to combine the 9 units of different devices with UDP protocol and shared memory. In this system simulated flight dynamics, stability and navigation of the high speed UAV (RKX-200TJ), using PID control. This HILS was developed step by step until it becomes to what is called as Integrated Simulation System (ISS). HILS process flow begins with connecting the entire device with notice to the suitability protocol among each other. With the easy setting provided by XPlane, all of parameters of RKX-200TJ vehicle was inserted into simulation system, and the data of PID control gains was also inserted into the main controller. Furthermore, the close loop process of flight dynamic of RKX-200TJ can be done in real time by monitoring process involving the entire device, and displays them in an easy to understand visualization.

Keywords: *High Speed UAV, HILS*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) yang cukup menjadi primadona saat ini sering diterjemahkan menjadi pesawat tanpa awak / nir awak adalah wahana terbang dengan istilah teknisnya mempunyai kondisi 6 derajat kebebasan (*degree of freedom*), alias berkelakuan 3 axis translasi dan 3 axis putar. Dengan kata lain UAV jenis apapun cenderung jatuh (saat terbang) jika tidak dikontrol dengan baik. Apalagi UAV yang akan diterbangkan adalah UAV khusus (tidak standar, berkecepatan tinggi, berbiaya mahal dan lain-lain. Sehingga untuk kasus seperti ini menjadi sebuah keharusan dilakukannya simulasi terbang terlebih dahulu sebelum uji terbang yang sesungguhnya.

Simulasi terbang menggunakan sistem *hardware in the loop simulation (HILS)*[1, 2] ini harus dapat memberikan data-data lengkap yang dibutuhkan UAV selama terbang. Jika perlu ditambahkan data-data pelengkap lainnya untuk keperluan stabilitas terbang, manuver, penentuan *way points* dan lain sebagainya.

Untuk memaksimalkan fungsi HILS, sering diperlukan teknik khusus atau seni dalam merangkai berbagai jenis perangkat keras (*hardware*), sistem kerja dan sistem komunikasi dari beberapa *protocol* yang berbeda. Namun demikian belum tentu penggabungan beberapa perangkat (*device*) tersebut dapat

dilakukan secara mudah.

HILS yang mengikut sertakan beberapa perangkat berbeda ini selanjutnya disebut *Integrated Simulation System (ISS)*. Dalam ISS inidigabungkan beberapa komputer yang berfungsi sebagai *flight simulator, main controller, onboard micro controller, inertial measurement unit (IMU), actuator, hexapod* dan lain-lain untuk tujuan memberikan solusi pendekatan simulasi terbang secara maksimal.

1.2. Permasalahan

Produk yang berbeda pabrik cenderung mempunyai spesifikasi *input/output (I/O)* khusus dan tidak mudah untuk meng integrasi kannya menjadi satu sistem. Setidaknya terdapat 9 unit perangkat yang akan digabungkan menjadi sebuah sistem ISS. Dengan sistem simulasi ini diharapkan dapat memberikan solusi terhadap pengembangan *high speed UAV* yang sedang dikembangkan oleh Pusat Teknologi Roket (gambar-1). Target yang ingin dicapai adalah kecepatan jelajah 250 km/jam, terbang dengan turbine jet, diluncurkan dengan booster roket (kecepatan awal UAV minimal 100 km/jam), mempunyai tingkat kestabilan tinggi dan terbang *auto pilot* mengikuti *way points* yang telah ditentukan.



Gambar 1-1 High Speed UAV Pustek Roket

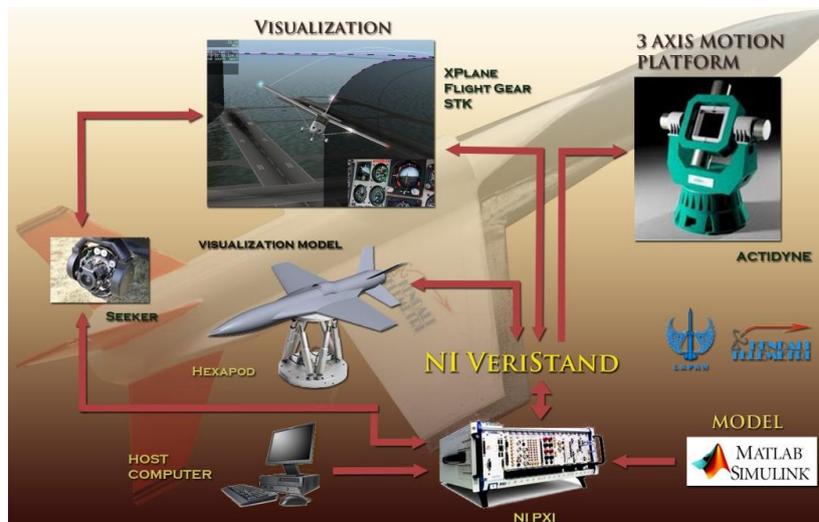
1.3. Tujuan

Pengembangan ISS dimaksudkan untuk :

- Memadukan seluruh perangkat terkait dalam satu kesatuan sistem.
- Meminimalisir kesalahan terbang dalam pengembangan *new design high speed UAV*.
- Memantau seluruh aspek / *variable flight dynamics vehicle* guna meningkatkan kinerja (*performance*), kestabilan dan sistem auto pilot.

2. HARDWARE IN THE LOOP SIMULATION (HILS) FRAME WORK

Pengembangan ISS ini dilakukan secara lingkaran tertutup (*close loop*) HILS dengan menggabungkan seluruh komponen yang digunakan dengan melibatkan beberapa *hardware* dan *software* dari produk yang berbeda, seperti ditampilkan pada gambar 2-1 di bawah.



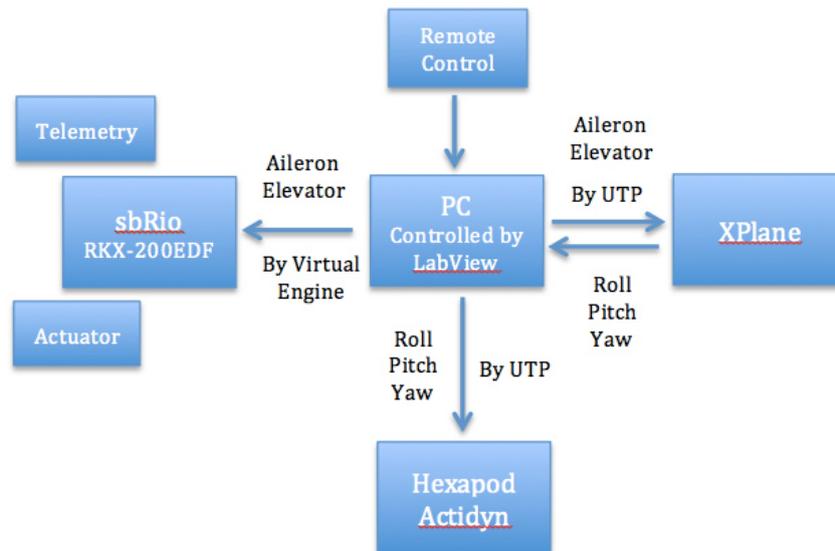
Gambar 2-1 Blok diagram Integrated Simulation System

Diagram blok di atas, menunjukkan rencana besar proyek pengembangan ISS yang akan dilaksanakan di PusTek Roket, dalam kaitan pengembangan roket kendali dan embrio RPS (Roket Peluncur Satelit) di masa mendatang. Pada tahap awal ini spesifikasi komponen yang dipergunakan dalam ISS adalah :

- a. **PC Controller (OS Windows dan LabView 2012)** adalah *host computer* yang mengatur seluruh kegiatan HILS dan menjadi pusat komunikasi antar device.
- b. **Main Controller UAV (NI sbRIO 9636)** adalah *micro controller* yang ditanam dalam high speed UAV (dalam hal ini adalah RKX-200T). *Controller* inilah yang mengatur semua gerak aktuator berdasarkan input IMU yang masuk.
- c. **Actuator (4 unit servo motor Hitec)**, RKX-200TJ ini mempunyai aktuator berbentuk *Tail Control X fin*, tanpa *aileron* di wing tengah. Hal ini untuk membiasakan pemrograman strategi control dalam pengembangan roket kendali yang menjadi salah satu program utama dalam renstra LAPAN.
- d. **Inertial Measurement Unit / IMU (Micro Strain 3DM-GX4-25)**, 6 derajat kebebasan dari sensor IMU [3] ini akan menunjukkan *attitude* wahana yang identik dengan kondisi simulasi berjalan. Sehingga nantinya IMU inilah yang akan menggantikan secara total baik dalam simulasi maupun uji terbang (*flight test*) yang sesungguhnya.
- e. **Radio Telemetry (MaxStream xTend)**, selain proses lingkaran tertutup dalam sistem RKX-200TJ itu sendiri, data-data posisi, *attitude* dan status terbang juga dikirimkan ke *Ground Station* melalui *telemetry system*.
- f. **Ground Control System PC (OS Windows dan LabView 2012)**, data-data yang dikirimkan oleh RKX-200TJ akan ditampilkan *Ground Control System (GCS)* [4] dalam model *monitoring system* yang *user friendly* berbentuk posisi wahana dalam *layout Google Map*, *attitude* wahana dalam model *cockpit* pesawat dan beberapa status lainnya dalam tampilan yang mudah diamati dan di analisa untuk kebutuhan pengembangan *high speed UAV* ini.
- g. **Remote RC and Interface (Futaba dan Interface)**, dalam pengembangan RKX-200TJ ini masih mengadopsi model UAV umum yang dilengkapi dengan sistem *auto pilot*. Oleh karena itu dalam simulasi inipun masih diperlukan *remote control* sebagai *interface* yang terhubung pada *PC Controller*. Dengan *remote control* ini, sistem dapat melakukan *switching* untuk kondisi manual, *stability* dan *auto pilot*.
- h. **XPlane Flight Simulator (OS Windows dan XPlane)**, adalah *software* simulator terbang wahana. Dengan dibuatkan model XPlane nya [5], maka simulasi kondisi terbang RKX-200TJ dapat dilakukan secara *close loop simulation*.
- i. **Hexapod (Physik Instrumente Hexapod dan Controller)**, visualisasi dari seluruh simulasi ini ditampilkan menggunakan hexapod [6]. Alat ini dapat bergerak secara translasi dan rotasi. Dengan hexapod ini, seluruh tampilan dalam simulasi dapat divisualisasikan secara *real time*.

3. METODOLOGI DAN PROSES

Dalam tahap awal pengembangan ISS ini, telah dirancang dan di implementasikan *Block XPlane Environmental* (gambar 3-1), yakni program pengembangan dalam rangka men-simulasikan kondisi terbang RKX-200TJ dengan memanfaatkan hampir keseluruhan koneksi *perangkat-perangkat* seperti yang disebutkan di atas.



Gambar 3-1 Blok Diagram XPlane Environmental

3.1. Alur Proses

Berdasarkan gambar-3, ada beberapa persiapan yang harus dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh *perangkat* telah terhubung dan dapat saling berkomunikasi, seperti yang tampak pada gambar-4.

Untuk itu dilakukan hal-hal berikut :

a. Koneksi antara PC Controller dan XPlane Flight Simulator

Terhubung menggunakan *User Datagram Protocol* (UDP), dengan menentukan IP *address* dan nomor terminalnya (*port*). Selain itu juga perlu ditentukan *output* data apa saja yang dapat dikirimkan dari *XPlane* ke *PC Controller*.



Gambar 3-2 Integrated Simulation System

b. Koneksi antara PC Controller dan Main Controller UAV

Kedua perangkat tersebut sama-sama menggunakan *software* LabView, sehingga koneksi yang tepat diantara keduanya adalah menggunakan *shared memory* [7].

c. Koneksi antara Main Controller UAV, IMU, Radio Telemetry dan Actuator

Pembacaan data IMU dan pengiriman data melalui *telemetry system* dilakukan secara serial. Sedangkan gerakan *actuator* dilakukan secara *Pulse Width Modulator* (PWM) yang diciptakan melalui *digital output* NI sbRIO.

d. Koneksi antara PC Controller dan Interface Remote RC

Untuk keperluan ini dikembangkan *hardware interface* khusus untuk membaca data-data

throttle, aileron, elevator dan rudder yang dikirimkan oleh Remote Control.

e. Koneksi antara PC Controller dan Hexapod

Koneksi keduanya dilakukan melalui UDP menggunakan *software* LabView.

3.2. High Speed UAV

Wahana yang menjadi ajang simulasi ini adalah model RKX-200TJ seperti yang tampak pada gambar-5. Wahana *high speed UAV* ini diharapkan akan menjadi tahapan dalam penguasaan teknologi kendali untuk roket. RKX-200TJ ini dikembangkan sejak tahun 2013 di Bidang Teknologi Kendali dan Telemetri :



Gambar 3-3 RKX-200TJ

Tabel 3-1 Spesifikasi RKX-200TJ

Spesifikasi	
Panjang total	2200 mm
Maksimum Total Weight (MTOW)	28 kg
Cruise Engine	Turbo Jet
	Max Thrust 18 kg
Maximum Fuel Tank	8 liter
Actuator	Full X Fin Tail Control
Flight Time	10 minutes
Cruise Speed	250 km/hour
Max Range	40 km
Control System	Auto Pilot by Way Points
Booster	Rocket with
	Thrust 120 kgf
Launcher	Customize for Rocket Booster

Dengan wahana seperti ini, maka perlu dibuatkan model RKX-200TJ di dalam XPlane simulator. ISS yang dibangun akan dapat memberikan solusi terhadap pengembangan model wahana baru dan perubahan-perubahan yang dibutuhkan selama pengembangan wahana tersebut.

Dari seluruh data-data yang diberikan selama simulasi diharapkan dapat membantu para engineer untuk mempelajari dan menganalisa stabilitas terbang wahana dan memperbaiki berbagai kondisi yang dibutuhkan untuk meningkatkan kinerja RKX-200TJ tersebut, serta dapat meningkatkan efisiensi waktu dan biaya.

3.3. Stability and AutoPilot

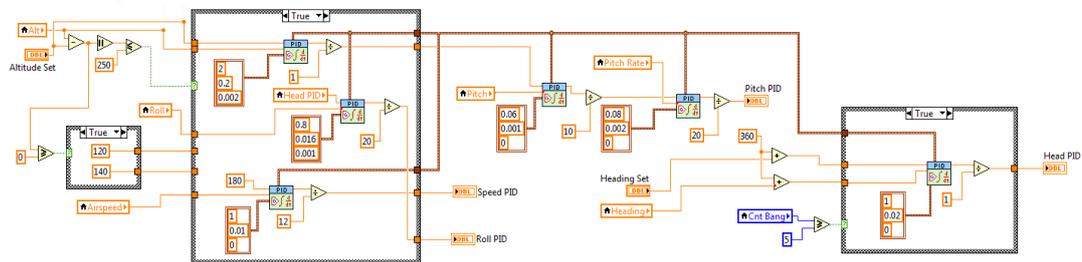
Pengembangan simulasi saat ini dibatasi untuk kondisi lepas landas (*take off*), *flight by wire* dan *auto pilot*. Masing-masing proses mendapatkan penekanan tertentu untuk kebutuhan analisa yang lebih rinci :

a. Take Off

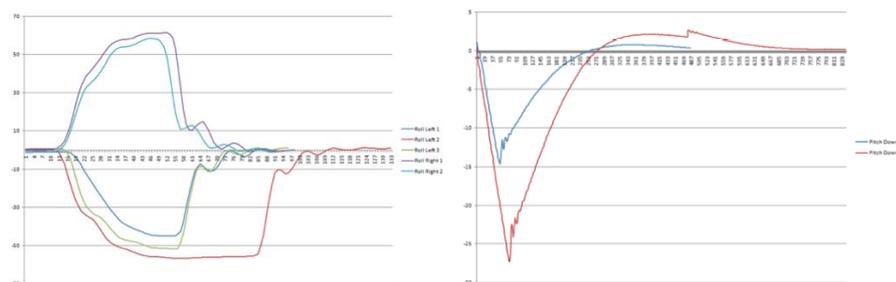
Kondisi lepas landas adalah kondisi yang cukup rumit untuk di analisa, sehingga perlu pembahasan khusus mengenai ini (akan disampaikan dalam paper terpisah). Untuk lepas landas, RKX-200TJ tidak mempunyai landing gear, maka dibutuhkan *customize launcher (pneumatic atau booster roket)*. Tetapi yang harus diperhatikan pada saat lepas landas adalah terpenuhinya syarat kecepatan awal dan kestabilan wahana.

b. Flight by Wire (FBWA)

Langkah pengujian pada umumnya melalui 3 step, yaitu manual, *flight by wire* dan *auto pilot*. Step FBWA yang dimaksudkan ini adalah kondisi wahana yang tengah terbang dengan kecepatan tertentu, terjadi gangguan natural (*head wind, side wind* dan lain-lain) atau diberikan gangguan yang disengaja (*roll atau pitch*), maka sistem kendali yang telah ditanamkan di dalam *micro controller* tersebut akan secara otomatis segera mengembalikan kondisi wahana pada kestabilannya. Untuk saat ini, kontrol kestabilan menggunakan sistem kendali PID yang dibangun dengan perangkat lunak LabView (gambar 3-4).



Gambar 3-4 Programming Stability and Auto Pilot using PID Control



Gambar 3-5 Anti Rolling and Pitching Test

Grafik pada gambar 3-5 di atas, menunjukkan tingkat stabilitas wahana. Setiap gangguan berupa *roll* atau *pitch* akan selalu dikembalikan menuju kestabilan berdasarkan sistem kendali PID yang di program.

c. Auto Pilot

Ketika kestabilan terbang tercapai, langkah selanjutnya adalah pengujian terhadap sistem *auto pilot by way points*. Sistem *auto pilot* ini sangat erat hubungannya dengan sistem navigasi (*longitude, latitude dan altitude*), yaitu posisi terkini dan target. Perbedaan posisi keduanya inilah yang menjadi point dalam pengembangan ISS ini. Maksimum sudut *bank*, kecepatan dan kestabilan saat *banking* sangat diperhatikan, termasuk mempertahankan ketinggian saat manuver, kesemuanya di kontrol dengan sistem kendali PID [8], seperti diperlihatkan pada gambar 3-6. RKX-200TJ ini tidak dilengkapi dengan *rudder*, sehingga seluruh manuver harus dilakukan dengan *bank* menuju target koordinat terdekat dalam program *way points* nya.

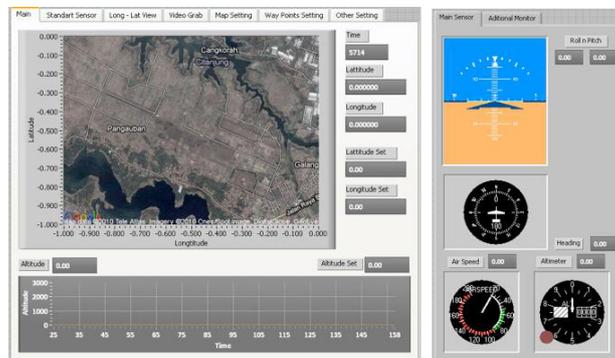


Gambar 3-6 Simulasi RKX-200TJ dalam XPlane

4. HASIL RISET DAN ANALISA

Pengembangan ISS dimulai dari integrasi 9 unit perangkat, selanjutnya memastikan koneksi antar perangkat tersebut, sampai uji coba simulasi menggunakan model RKX-200TJ terhadap kestabilan terbang dan sistem *auto pilot*. Dengan demikian proses pengembangan ISS ini :

- a. Membuktikan bahwa ISS dapat diimplementasikan meskipun terdiri atas berbagai macam komponen yang berbeda produk (*NI Labview, XPlane, MicroStrain, MaxStream, Hitec, Futaba Interface, Hexapod*) dan *protocol (shared memory, UDP, serial, PWM)*. Tahap pertama *XPlane Environmental* telah sukses diimplementasikan sesuai perancangan awal. Kesuksesan ini akan dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya, *Blind XPlane and IMU* dan *PXI Environmental* di riset mendatang.
- b. Seluruh alur proses berjalan sesuai perencanaan dengan kecepatan transfer 50 data per second via UDP [9]. Kecepatan ini sangat mencukupi untuk visualisasi *real time* di XPlane maupun proses PID di *main controller*.
- c. Simulasi dalam ISS ini dapat mengakomodasi kecepatan *high speed* UAV pada 250 km/jam sesuai rancangan, bahkan mampu di-simulasikan sampai kecepatan 350 km/jam.
- d. Visualisasi UAV menggunakan XPlane seperti yang tampak pada gambar 4-1, cukup realistis, didukung dengan tampilan data-data yang *user friendly (layout* posisi di atas *google map, attitude data dalam cockpit view, dll)*, memudahkan pengamatan dan analisa secara langsung oleh para peneliti terkait.



Gambar 4-1 Monitoring view

5. KESIMPULAN

Berdasarkan riset pengembangan ISS yangdikhhususkan untuk pengembangan *High Speed UAV*, RXX-200TJ ini, ada beberapa bahasan yang disimpulkan pada paper ini:

- a. Perbedaan produk dengan spesifikasi dan protocol berbedamampu diintegrasikan dalam sebuah sistem yang dapat membantu pengembangan *High Speed UAV*, yaitu RXX-200TJ yang sedang dikembangkan LAPAN.
- b. Memberikan banyak kemudahan dalam pengembangan sistem *High Speed UAV* untukmeningkatkan kinerja terkaitperubahan *design, prototyping, setting gain PID* dan lain-lain yang bermuara pada stabilitas terbang dan sistem *auto pilot by way points*.
- c. Dengan ISS penggunaan HILS menjadilebih berdayaguna dengan meminimalisirkesalahan-kesalahan, sertaefisiensi SDM, waktu dan biaya.
- d. ISS ini dimungkinkan untukpengembangan *New Design UAV*, karena setiap model yang dikembangkan di XPlane dapat dianalisa *attitude* dan *navigasinya* dalam rangka pengembangan stabilitas terbang dan sistem *auto pilotnya*.
- e. Membuka peluang riset lanjutan menggunakan IMU dan Hexapod secara *close loop* dengan membandingkan dan menggantikan secara langsung dengan *output* IMU XPlane.Riset selanjutnya yaitu dengan melibatkan penggunaan Matlab dan NI PXI [10] untuk secara langsung dalam pengujian model non linear wahana yang dikembangkan secara mandiri menggunakan Matlab Simulink.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ditujukan kepada Deputi Teknologi Dirgantara dan Kepala Pusat Teknologi Roket atas fasilitas dan dukungan dalam melakukan kegiatan penelitian ini. Serta teman-teman dalam tim *Dynamic Simulation Laboratory*, juga seluruh teman di Bidang Teknologi Kendali atas semua bantuan yang telah diberikan secara langsung maupun tidak langsung.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi paper ini menjadi tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Al-Radaideh, A., Al-Jarrah, M. A., & Jhemi, A. UAV Testbed building and development for research purposes at the American University of Sharjah. *Mechatronics and Its Applications (ISMA), 2010 7th International Symposium on*. 2010.
- 2) Sufendi, Trilaksono, B. R., Nasution, S. H., & Purwanto, E. B. Design and implementation of hardware-in-the-loop-simulation for uav using pid control method. In *Proc. of 2013 3rd Int. Conf. on Instrumentation, Communications, Information Technol., and Biomedical Engineering: Science and Technol. for Improvement of Health, Safety, and Environ., ICICI-BME 2013* (pp. 124–130).
- 3) Huang, Z., & Fang, J. Integration of MEMS inertial sensor-based GNC of a UAV. *International Journal of Information Technology*, 11, . 2005. 123–132.
- 4) Suryana, J., Hariyadi, T., & Irwanto, H. Y. Design and implementation of moving object tracker for UAV/rocket ground station. In *2013 International Conference of Information and Communication Technology, ICoICT 2013*.
- 5) Ribeiro, L. R., & Oliveira, N. M. F. UAV autopilot controllers test platform using Matlab/Simulink and X-Plane. In *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*. 2010.
- 6) Manoiu-Olaru, S., Nitulescu, M., & Stoian, V. Hexapod robot. Mathematical support for modeling and control. In *System Theory, Control, and Computing (ICSTCC), 2011 15th International Conference on* . 2011 . (pp. 1–6).
- 7) Protic, J., Tomasevic, M., & Milutinovic, V. Distributed shared memory: concepts and systems. *IEEE Parallel and Distributed Technology*, 4, 1996. 63–77.
- 8) Zhang, P., & Liu, Z. On new UAV formation flight control system. *Proceedings of the 30th Chinese Control Conference*, 2011. 3411–3414.

- 9) Herma Yudhi Irwanto. Complete Monitoring of Ground Control System for High Speed UAV. In *Advance Research in Material Sciences, Manufacturing, Mechanical and Mechatronic Engineering Technology International Conference., AR4MET 2015*.
- 10) Jiakun, S., Hongxing, L., & Shixianjun. Hardware-in-the-loop Simulation Framework Design For a UAV Embedded Control System. In *Control Conference - CCC 2006* (pp. 1890–1894).